船舶技術研究所報告　第21巻　第5号　資料（昭和59年9月）

船舶技術研究所で開発された電子計算機プログラムの概要 ―第5集―

目　次

原稿受付：昭和59年5月

An Outline of Programs Compiled in Ship Research Institute —No. 5—

Contents

1．等高線図の作画プログラム

推進性能部　菅　井　信　夫

1．プログラムの目的および概要

計測技術の発達によって，多点計測が楽にできるようになると共にそのデータの量は著しく増加する。多点計測結果の解析法の一つに計測された量を等高線図（コンターカーブ）に表わす方法がよく用いられるが，これを手作業で行うと多くの貴重な時間が奪われることになる。これらの作業をコンピュータで処理することは，データ処理の迅速化とともに，作画時の個人差をなくす（反対に，経験から得られた知識が無視される欠点も考えられる）うえからも重要である。

本プログラムは，多点計測されたデータなどから2次元配列のデータに直されたものを入力とし，X―Yプロッタに等高線図を作画するものである。

2．プログラムの内容

2.1　プログラムの名称　等高線図の作画

2.2　製作年月　昭和53年3月

2.3　計算の概要

1cm間隔の2次元配列で入力されたデータは，データ拡張用係数によって補間拡張される。この拡張用係数は，等高線の滑らかさを決めるものであるが通常は2～3で十分である。この拡張されたデータを各区間で近似を行い，指定した等レベルの値の座標を読みとるものである。

2.4　計算の手順

計算の手順は，図－1のフローチャートに示す。

2.5　計算機種および制限事項

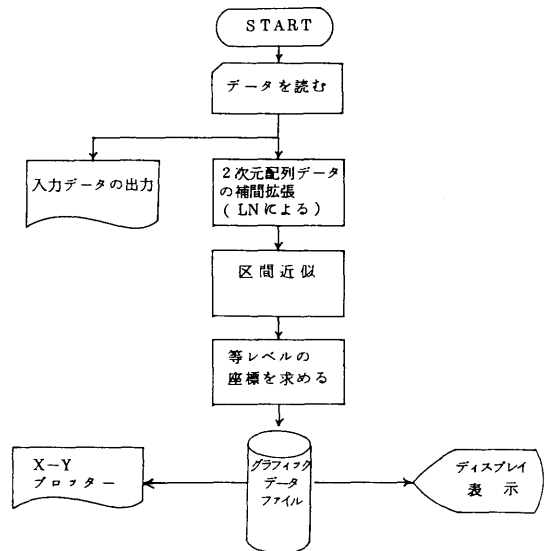
FACOM M180-Ⅱ AD システム

2次元配列のデータの大きさは238である。

3．プログラムの応用

本プログラムは，主としてサブルーチンとして利用されているが，そのいくつかの応用例について述べる。

(1)　船体表面上の圧力，速度等の分布図の作成

当部における使い方の代表的なものであり，作画はBody Plan（正面図）上と profile 上に行っている。

図－1　フローチャート図

(2)　伴流分布図の作成

プロペラ面へ流入する速度分布を表わすものである。

(3)　船側波形，船尾波形の波紋図の作成

これらは計測範囲が広いために現在のプログラム容量では足りないので，いくつかに分割して作図するなどの手法で利用している。

4．あ　と　が　き

本プログラムが利用できる状態になってから6年程度経過している。現在プログラムの容量不足，2次元配列データの作成が面倒であることなどの欠点があり，利用に不便が感じられるので今後更に利用しやすいようにプログラムの改良を行いたい。

2．二次元揚力体周りのポテンシャル流の計算プログラム

推進性能部　児　玉　良　明

1．プログラムの目的および概要

二次元揚力体まわりのポテンシャル流計算法の代表的なものとしては等角写像法があるが，本方法はより直接的な表面特異点分布法である。すなわち物体を多角形で近似し，各辺上に吹き出しと循環の分布を置き，連立一次方程式を解いて解を求める。

等角写像法と比較しての本方法の特徴は，物体形状の自由度が大きいこと，淀み点を翼後縁位置を含めて任意の位置にもってくることができること，そして鏡像効果を解析的に取入れることにより上下壁の影響を考慮することができることである。

2．プログラムの内容

2.1　プログラムの名称

「二次元揚力体周りのポテンシャル流の計算」

2.2　製作者

推進性能部　児玉良明

2.3　製作年月

昭和56年7月

2.4　計算の概要

• 基本的には Hess & Smith 法と同じである。

• 物体形状をN角形で近似。各項点を Z_{e1} ～ Z_{eN} で指定する（図1）。

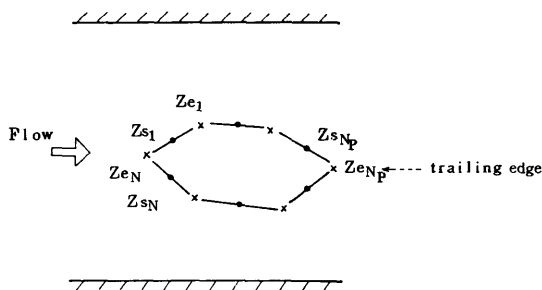



図1　物体形状

• 各辺（これを element と呼ぶ）にそれぞれ一様強さの source 分布をおく。さらに各辺に共通な強さの vorticity 分布をおく。すなわち未知数は（N＋1）個。

• 各 element の中点 Z_s （これを control point と呼ぶ）における速度の法線成分がゼロであることを要求する。

さらに，Kutta condition として或る end point Z_{eNP} を trailing edge とし，その前後の control point における速度の接線方向成分の大きさが等しいことを要求する。[図2]すなわち条件は（N＋1）個になる。これから（N＋1）元連立方程式を解いて source 分布と vorticity 分布の強さが求まり，任意の点での速度が求まる。

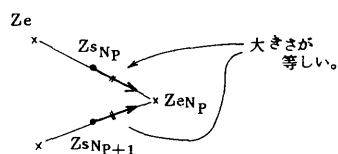



図2　Kutta condition

• wall effect は図3のように鏡像による効果を無限遠方まで足し合わせることにより厳密に考慮している。

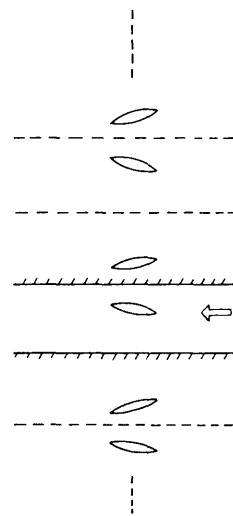



図3　鏡像効果

2.5 計算の手順

計算の手順はフローチャートに示す通りである（図4）。

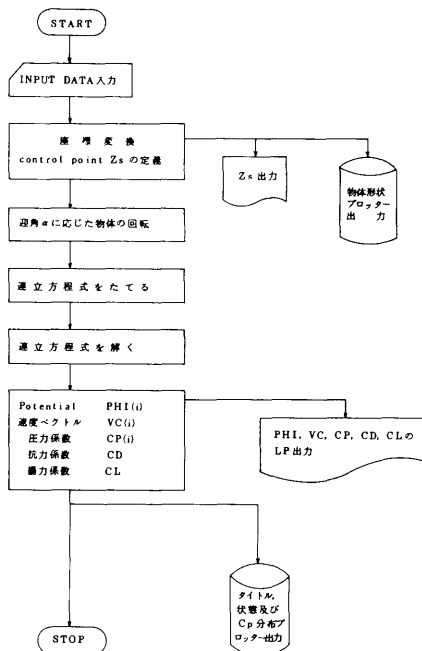



図4　　フローチャート

2.6　プログラム用語および計算機種
FŌRTRAN, FACŌM M−180 Ⅱ −AD

3．プログラムの応用

応用例として楕円柱が迎え角10°で流れの中に置かれている場合のプロッターによる出力結果を示す（図5）。

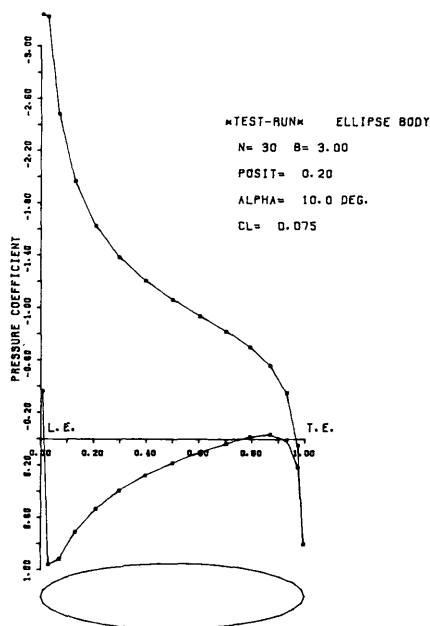



図5　　プロッター出力例

4．あとがき

回流水槽等で実験をする場合，ある程度の wall effect は避け難い。その許容限度を評価したり，計測値を補正したりする上で本プログラムの活用が期待される。

参考文献

Hess, J.H. and Smith, A.M.O.: "Calculation of Non-Lifting Potential Flow About Arbitrary Three-Dimensional Bodies" Douglas Aircraft Report No. E.S. 40622. March, 1962.

3．3次元非揚力体周りのポテンシャル流の計算プログラム

推進性能部　竹　子　春　弥

1．プログラムの目的および概要

船舶，航空機などの流力特性を調べる時，最も基本となるのは非圧縮性ポテンシャル流場における特性である。任意の三次元非揚力体周りの非圧縮性ポテンシャル流の計算で現在最も一般的な方法は J.L. Hess and A.M.O. Smith による方法[1]である。本プログラムはこの方法に従って，物体表面を有限個の四辺形面素で

近似し四辺形要素上の特異点分布についての積分方程式を解くことにより，一様流中の三次元物体表面および物体から離れた点での流速成分，圧力係数を求めるものである。

2．プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

三次元非揚力体周りのポテンシャル流の計算
Calculation of Nonlifting Potential Flow
About Arbitrary Three-Dimensional Bodies

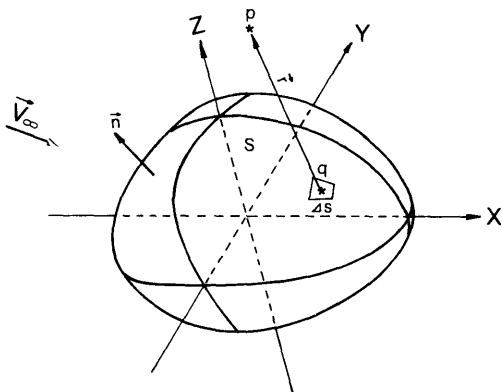
2.2 製作者

推進性能部　山口眞裕，足達宏之，管井信夫，
石坂　純，竹子春弥，塚田吉昭

2.3 製作年月

昭和58年3月　第4版

2.4 計算の概要

物体表面上の吹出し分布σ (q) を求めるための積分方程式は図—1に示す座標系を使うと

図—1　座　標　系

$$2\pi\,\sigma(p)-\oiint_s \frac{\partial}{\partial n}\left\{\frac{1}{r(p,q)}\right\}\sigma(q)dS=-\vec{n}(p)\cdot\vec{V}_\infty$$

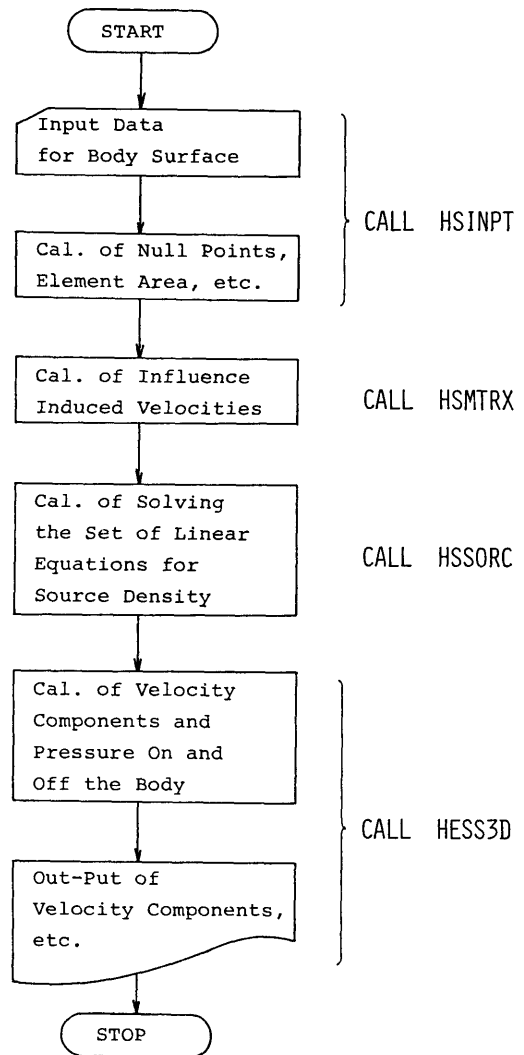
ただし，$\sigma(p)$＝点 p (x,y,z) での吹出し密度
$\sigma(q)$＝点 $q(\xi,\eta,\zeta)$での吹出し密度
$r\ (p,q)\ =\sqrt{(x-\xi)^2+(y-\eta)^2+(z-\zeta)^2}$
$\vec{n}(p)$＝点 p における外向き法線ベクトル
$\vec{V}_\infty$＝一様流速ベクトル

である。物体表面を近似する四辺形面素上では吹出し密度は一定とし，境界条件はその中心点（Null Point）で満足させる様に積分方程式を線型連立方程式に変形して吹出し分布σについて解く。吹出し分布が求まれば，点 P における攪乱速度ポテンシャルφは

$$\varphi\ (x,y,z)\ =\oiint_S \frac{\sigma(q)}{r(p,q)}\,dS$$

より計算でき，各方向の微分によって速度成分が求まる。

2.5 計算の手順

計算の手順は概略図－2のフローチャートに示すとおりである。

図－2　フローチャート

2.6 計算機種および制限事項

第1版がFACOM，第2，3版がTOSBAC系の機種用のものであったため，多少の修正により一般の機種にかかる。現在の第4版はFACOM OS/IVシステムのFORTRAN 77用のものである。計算に必要なメモリ数は，物体の分割数（現在700又は1500以下）により異なるが，通常約600ＫＢである。周辺機機としては，ＴＳＳ端末又はカードリーダ，ラインプリンタ，パーマネントファイルが必要である。

2.7 計算時間および計算精度

計算時間は物体の分割数のほぼ2乗に比例して増加し，分割数250程度で約2分である。また計算精度は，物体の分割数，分割の仕方，連立方程式の計算精度等によるが，球全体を36×36分割して計算した結果では，分割が適当であれば解析結果と1％以下の誤差範囲で一致する。

3．プログラムの応用

プロペラ面等におけるポテンシャル伴流の計算，境界層計算およびプロペラと船体等の干渉などの理論計算の初期値として利用できる。

またもっと一般的にグリーン関数が$\frac{1}{r}$で表わされるラプラス方程式をNeumann条件のもとで解く境界値問題に適用可能と思われる。

4．あとがき

このプログラムは，入力データを作るのが多少時間がかかるので，船体線図のoffsetからの補間自動分割等のサブルーチンを開発中である。また，使用方法については推進性能部のマニュアル[2]を参照されたい。

参考文献

1）J.L. Hess, A.M.O. Smith; "Calculation of Non-Lifting Potential Flow About Arbitrary Three-Dimensional Bodies", Douglas Aircraft Co., Inc., Report No. E.S. 40622, 1962

2）「船舶流体力学ライブラリSHSL使用説明書」，推進性能部資料，1983年

4．3次元乱流境界層第一近似解を用いた公称伴流係数の推定プログラム

推進性能部　石　坂　　純

1．プログラムの目的および概要

船尾形状の初期設計の段階で公称伴流係数の値を知りたい時がある。本プログラムは，渦なしの条件の下で計画船型の公称伴流係数を推定することができる。

本プログラムでは，あらかじめ船体表面上およびプロペラ面内でのポテンシャル流速分布が与えられていなければならない。

2．プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

3次元乱流境界層第一近似解を用いた公称伴流係数の推定プログラム

2.2 製作者

推進性能部　　石坂　純

2.3 製作年月

昭和56年8月

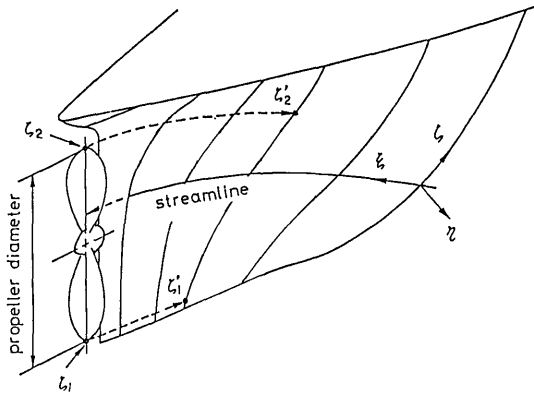
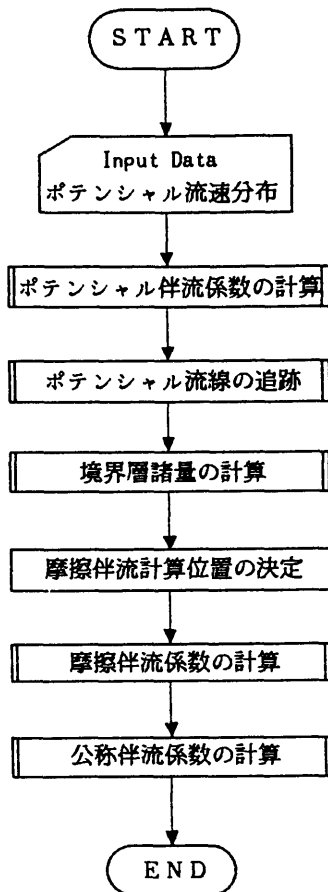
2.4 計算の概要

公称伴流係数（W_N）をポテンシャル伴流係数（W_P）と摩擦伴流係数（W_F）を使って

$$W_N = W_P + W_F \tag{1}$$

と表わす。W_Pはプロペラ面内のポテンシャル流速のx方向成分を使って求められる。W_Fはポテンシャル流線上の速度u_s，境界層の排除厚さδ^*およびプロペラ面積Sを使って次式の様に表わすことができる。

$$W_F = \frac{2}{S}\int_{\zeta_1}^{\zeta_2} \frac{u_s}{U_\infty}\delta^* d\zeta \tag{2}$$

ここにU_∞は無限前方の一様流速であり，ζは図－1に示す流線座標である。

図－1　座　標　系

図－2　フロチャート

(2)式はプロペラ位置での計算であって，流線追跡上の問題および境界層解の発散が考えられることから有意な値を得ることはできない。本プログラムでは，プロペラ位置の代りに前方の境界層解が発散しないと考えられる位置で計算を行なう。すなわち，

$$W_F=\frac{8}{\pi(\zeta'_2-\zeta'_1)^2}\int_{\zeta_1}^{\zeta_2}\frac{u^x{}_s}{U_\infty}\delta^*\,d\zeta \qquad (3)$$

として計算を行なう。添字′は計算位置でのそれぞれの値を意味する。ζ'_1, ζ'_2 はそれぞれ流線に沿って移動した値である。

2.5　計算の手順

計算の手順は図－2のフローチャートに示す。

2.6　計算機種および制限事項

本プログラムは，計算センターのFACŌM−M180 II用に製作したものである。科学用サブルーチンライブラリからB−Spline補間式を用いている。使用メモリーは672KBである。

3．プログラムの応用

本プログラムは，3次元乱流境界層第一近似解を用いているが，さらに高次の境界層計算プログラムへの応用も可能である。

あとがき

渦なしの場合の公称伴流係数を推定するプログラムを作成した。本プログラムを縦渦の小さいV型船尾船型に適用した結果は実験値と良い一致を示している。しかし，縦渦の大きいU型船尾船型では実験値よりも小さい値を示しており何らかの修正が必要である。

参考文献

1．石坂　純：3次元乱流境界層第一近似解を用いた公称伴流係数の一試算，船舶技術研究所報告第19巻4号，昭和57年7月

5．小型船などの安全評価のための航走波計算プログラム

推進性能部　神　蔵　輝　男

1．プログラムの目的および概要

航走中の船舶の近傍にある小舟および作業船は，航走船舶の曳波を受けて危険な状態になる場合が少なくない。この問題をシミュレートする目的で，次の状況を設定した。複数の大型船が所定の位置より任意の方向に一定の速度で航走中のとき，原点に位置する小舟も任意の方向に方位をとりつつ微速で移動しているものとする。このとき本プログラムでは，この小舟が一定時間内に経験する波高，波傾斜，危険範囲の判定と，複数の大型船の小舟に対する相対位置等を計算する。尚大型船の船型は，流体力学上の特異点分布を示す係数によって表示して計算している。

2．プログラムの内容

2.1　プログラムの名称

Calculation of the Influence of Ship Running Waves

2.2　製作者

推進性能部　　足達　宏之

2.3　製作年月

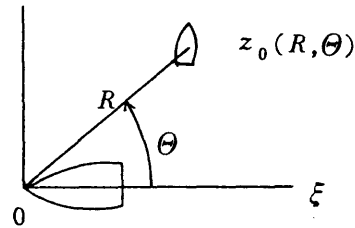
昭和50年2月

2.4　計算の概要

(1)　大型船と小舟の相対位置の計算

時間 t＝0 に n 隻の大型船が所定の位置（X_0, Y_0）を北よりβ_n°の方向にとって $U_n(u,v)$ で航走中である。同時に原点に位置する小舟は北より α°の方位に微速 U_0（u_s, v_s）で移動中であるとき，小舟が時間 t_1 より t_2 までの間移動しているときの大型船と小舟の相対位置を求める。

(2)　波高計算

基本的には漸近表示式を用いることとし，大型船の船首を原点と考え，小舟の中心までの距離を R（>0）とし，大型船と小舟のなす角度Θを図－1のように定義すると大型船より小舟の中心における波高ζ（R, Θ）は，次式のように示すことが出来る。

図－1　大型船と小舟の位置

$$\zeta(R,\ \theta)=\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}} S_F(\theta)\cdot\sin\{K_0\cdot R\cdot\sec^2\theta\cdot\cos(\Theta-\theta)\}d\theta \cdots\cdots(1)$$

ここで S_F（θ）は振幅関数で，船体形状により定まり K_0 は次式で定義される。

$$K_0=\frac{g}{U^2}\cdots\cdots(2)$$

(3)　振幅関数 S_F（θ）の計算

船型表示係数表（offset）から船型に対応する無次元特異点分布係数 $\overline{a}_{nm}$ が求められたとし，また波高を Sine Wave のみを考えることにすると，振幅関数 S_F（θ）は次式で求めることができる。

$$S_F(\theta)=\frac{l}{\pi}\sum_{n=0}^{N}\sum_{m=0}^{M}$$

$$\overline{a}_{nm}\cdot\frac{(-1)^m}{m!}\cdot\frac{1}{(K_0\cdot l\cdot\sec^2\theta)^{m-1}}\{1-e^{-K_0.t.\sec^2\theta}$$

$$\sum_{r=0}^{m}\frac{(K_0 t\sec^2\theta)^{m-r}}{(m-r)!}\}\times\sum_{u=1}^{\left[\frac{n+2}{2}\right]}(-1)^u$$

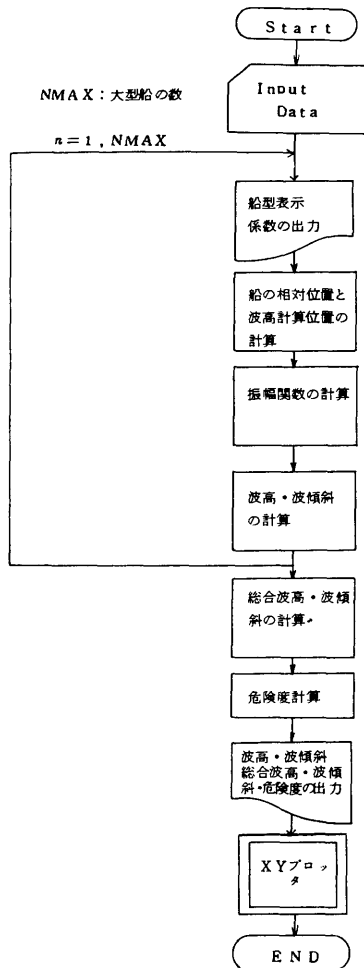
$$\times\frac{n!}{(n-2u+2)!}\cdot\frac{1}{(K_0 l\cdot\sec\theta)^{2u}}\cdots\cdots(3)$$

g　；重力加速度

l　；L/2　　船の半分の長さ

t　；船の平均喫水

$\overline{a}_{nm}$　；無次元特異点分布係数

$\overline{\sigma}$（ξ，ζ）を無次元特異点分布とすると，次の式で定義される。

図－2　フローチャート

$$\bar{\sigma}\ (\xi,\ \zeta)=\sum_{n=0}^{N}\sum_{m=0}^{M}\bar{a}_{nm}\xi^{n}\zeta^{m}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

(4)　危険範囲の判定について

総合波高が求められたとき，見かけの出会周期を求めて小舟の横揺周期，横傾斜，縦傾斜等と比較判定しその時の総合点を求めることによって，危険度を判定する一つの情報を与える。

2.5　計算手順

図－2のフローチャートによって示す。

2.6　計算機種等

FORTRAN, FACOM M180 II AD, X―Y プロッタ

3．プログラムの応用

本プログラムは，大型船の航走波による事故解析等に応用できる。また，航走波の伝播の仕方も推定することができるので港湾の設計などにも利用できる。

4．あ　と　が　き

本プログラムは，水深が十分深く，海域には海岸，島などの境界がないことを前提とし，すべての船舶は直進しているものとし潮流，風，海洋波の影響はないものとしている。尚，詳細な内容については，参考文献あるいは推進性能部・船舶流体力学ライブラリー使用説明書を参照。

参　考　文　献

「航走波計算プログラム取扱説明書」
日本海難防止協会・航走波研究委員会
日本ビジネスオートメーション㈱，1976

6．変動圧力波形の Fourier 解析プログラム

推進性能部　岡　本　三千朗

1．プログラムの目的および概要

舶用プロペラに発生する非定常キャビテーションが船尾振動を増加させる事は従来より知られている。特に船尾形状と装着するプロペラの組み合せの設計が適当でないと船尾振動により船尾付近の作業環境が著しく悪化する。極端な場合には，船尾に亀裂が発生することもあり，安全上からも問題となる。非定常キャビテーションによる船尾振動増加の現象を究明するには模型船のプロペラ周りの船体表面に取り付けた半導体

圧力計から得られる変動圧力波形をフーリェ解析して作動中のプロペラの Blade Frequency に対する周波数分析結果を検討しておく必要がある。

本プログラムは Analogue MT から A/D 変換作業を施して作った Digital MT を使ってプロペラ1回転毎の変動圧力波形のフリーェ解析を行うものである。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

Fourier Analysis for Records of Fluctuating pressure

2.2 製作者

推進性能部　　岡本三千朗

2.3 製作年月

昭和54年10月

2.4 解析の概要

Digital MT よりプロペラ1回転分のデジタルデータを読み込み，これを基本波形としてフーリェ解析を行い，また基本波形内での最大振幅等の検索も行って解析結果を図面化する。

変動圧力の基本波形は次式で近似され，

$$y = a_0 / 2 + \sum_{i=1}^{N} \{a_i \cos(i\theta) + b_i \sin(i\theta)\}$$

$$= a_0/2 + \sum_{i=1}^{N} \sqrt{a_i^2 + b_i^2} \cos(i\theta - \varphi)$$

ただし

$$a_0 = 1/n \cdot \sum_{m=0}^{n-1} y_m$$

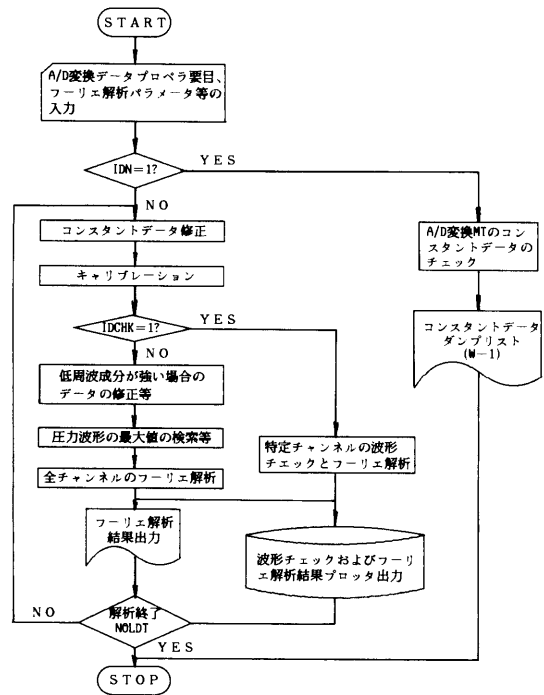
$$a_i = \begin{cases} 2/n \cdot \sum_{m=0}^{n-1} y_m \cos(im2\pi/n) & \text{for } i \neq n/2 \\ 1/n \cdot \sum_{m=0}^{n-1} y_m \cos(n\pi) & i = n/2 \end{cases}$$

$$b_i = \begin{cases} 2/n \cdot \sum_{m=0}^{n-1} y_m \sin(im2\pi/n) & \text{for } i \neq n/2 \\ 0 & i = n/2 \end{cases}$$

N　：必要とする Blade Frequency の次数の整数倍
y_m　：観測値
φ　：位相（$\tan^{-1} b_i / a_i$）
n　：サンプリング個数

Blade Frequency の次数を含む次数毎に係数，振幅，位相，最大振幅等が算出される。

2.5 計算の手順

計算の手順は図1のフローチャートに示す通りである。

図－1　フローチャート

2.6 計算機および制限事項

1）用語：FŌRTRAN

　機種：FACŌM M 180 Ⅱ AD およびDATAC-2000

2）A/D 変換は DATAC-2000 の性能より精度が 9bit（±256 step, 1bit/40mV）なので，フルスケール±10.2 V となるように電圧調整を行う。

3）一度に処理できる入力チャンネル数は13チャンネルまでである。

4）サンプリング形式は sequential に行う。

5）サンプリング速度は最大20 KHz，またチャンネルあたりのサンプリング個数はチャンネル数，Blade Frequency（$f_B = N_P \cdot Z$, N_P: プロペラ回転数, Z 翼数）で増減する。

）Ōne Record length は2400 Byte（1200データ）で，9 bit／データである。

7）基本波形を採り出すために使用するパルスのレベルは揃っていることが望ましい。

3．プログラムの応用

本プログラムは単にデジタルデータのチャンネル毎の割り振り作業を行った後，各チャンネル毎に最小自乗法によるキャリブレーション定数の算出，またある個数のデジタルデータを基に最大値の検索とフーリェ解析を行い，結果をXYプロッタ等に作画するだけなので，1 KHz程度までの振動現象の周波数分析を対象とするものなら変数名を変えるだけで使用できる。

4．プログラムの検定等

4.1 計算精度および誤差

2.6 計算機および制限事項を参照。

4.2 計算所要時間

10周期分の変動波形の解析を行ってその平均値を出す場合で約50秒程度。

ただしX・Yプロッタ等に結果を作図するルーチンは外して行う。

5．あとがき

フーリェ逆変換を行って解析が正しいことをチェックするルーチンはテストデータで確認したので省略してある。また最近ではパソコンの普及により表題等の作業はパソコン用A／D変換器でデジタル化されたデータを直接処理して行われるが，Digital MTの代わりにパソコンから送り込まれたデータを使っても解析できるように組替えるつもりである。

参考文献

1）DATAC－2000（PB）高速データ集録装置取扱い説明書，岩崎通信機K．K．
2）FACŌM ŌSIV/F 4 DATAC－2000A/DP－4000用磁気テープ入出力ルーチン外部仕様 FACŌM HITAC K.K.
3）標準試験法 第2分冊 9波形解析法 推進性能部
4）岩波講座 基礎工学4 数値解析Ⅱ
5）FACŌM ŌSIV GDP 使用手引書，1970 富士通K．K．

7． 2重反転プロペラの設計及び性能計算プログラム

推進性能部 門 井 弘 行

1．プログラムの目的および概要

高効率の期待できる特殊プロペラーの一つとして2重反転プロペラがある。しかしその設計は，前後に配置した2個のプロペラ間の相互干渉を考慮する必要があるため，通常の1軸プロペラを設計するほど簡単ではない。本プロペラはLerbs[1]のinduction factor methodを基にしたMorgan[2]の2重反転プロペラの設計法をプログラム化したものである。

設計は最初に前後プロペラそれぞれを相互干渉を無視したequivalent propellerとして設計する。その後に，前後プロペラ間の相互干渉，前後プロペラ位置の伴流の差違，後方プロペラの後流の縮流効果等の影響を修正したactual propellerを設計する。最後にピッチ，キャンバーにたいして揚力面補正および摩擦修正を施して最終的なプロペラ幾何形状が決定される。

2．プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

2重反転プロペラの設計及び性能計算プログラム
The Design of Contra-Rotating Propeller

2.2 製作者

推進性能部 小久保 芳男

2.3 製作年月

昭和49年4月

2.4 計算の概要

Ⅰ．equivalent propellerの設計

1）与えられた設計条件よりスラスト係数C_{Ti}およびC_{TSi}を計算する。また，C_{Ti}によりプロペラの理想効率η_iをSchultzの図表より求める。

2）プロペラの前進角β，伴流値wを基にプロペラの流体力学的ピッチ角β_iを計算する。

3）induction factor を計算し，無次元循環 G^* のフーリェ係数 G_m に関する方程式を解いて G_m^* を求め，この値を用いて軸方向および接線方向の誘導速度 U_A，U_T を計算し，U_A/U_T が初期値と十分一致するまで繰り返し計算を行う。

4）G^*，U_A，U_T が収束したら，スラスト係数 C_{TSi}^* を計算し，設計値と十分一致するまで β_i を修正して繰り返し計算を行う。

5）C_{TSi} が収束したら equivalent propeller の G^*，U_A，U_T の最終値を打ち出す。

Ⅱ．actual propeller の設計

ここでは干渉速度，前後プロペラの間隔，前後プロペラ位置の伴流の差違，プロペラ後流の縮流効果等の影響を考慮した流体力学的ピッチ角を求めてピッチを決定する。また，キャビテーションを考慮してプロペラ幾何形状を求め，これに揚力面補正，摩擦修正を施し，一対の2重反転プロペラの幾何形状を決定する。

1）equivalent propeller の設計で求まった G^*，U_A，U_T を用いて，前後プロペラの誘導速度にたいする相互干渉係数 f_a，g_a，後流の縮流効果を示す contraction factor δ，前後プロペラが同一トルクで作動するための circulation factor ζ を計算し，これらをとり入れた流体力学的ピッチ角 β_i を計算する。最初に（$1+\bar{\delta}$）（$1+\bar{\zeta}$）$=1=M_0$ を初期値として，δ，ζ を計算し，$1-(M_i/M_0)<0.01$ まで繰り返し計算を行う。δ，ζ が収束したら，$\bar{\delta}$，$\bar{\zeta}$ を用いて前後プロペラの流体力学的ピッチ角 $(\tan\beta_i)_1$，$(\tan\beta_i)_2$ を計算し，ピッチ比の第1近似値を求める。

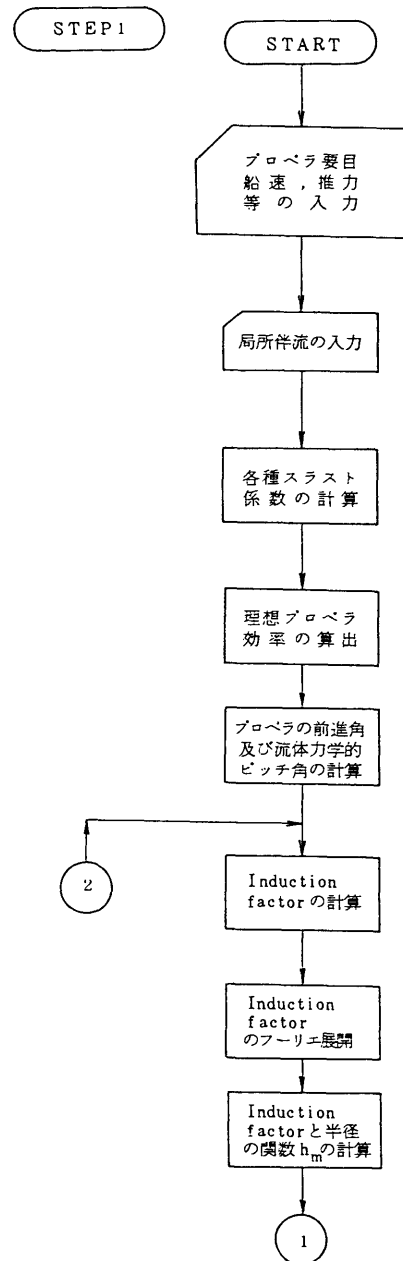
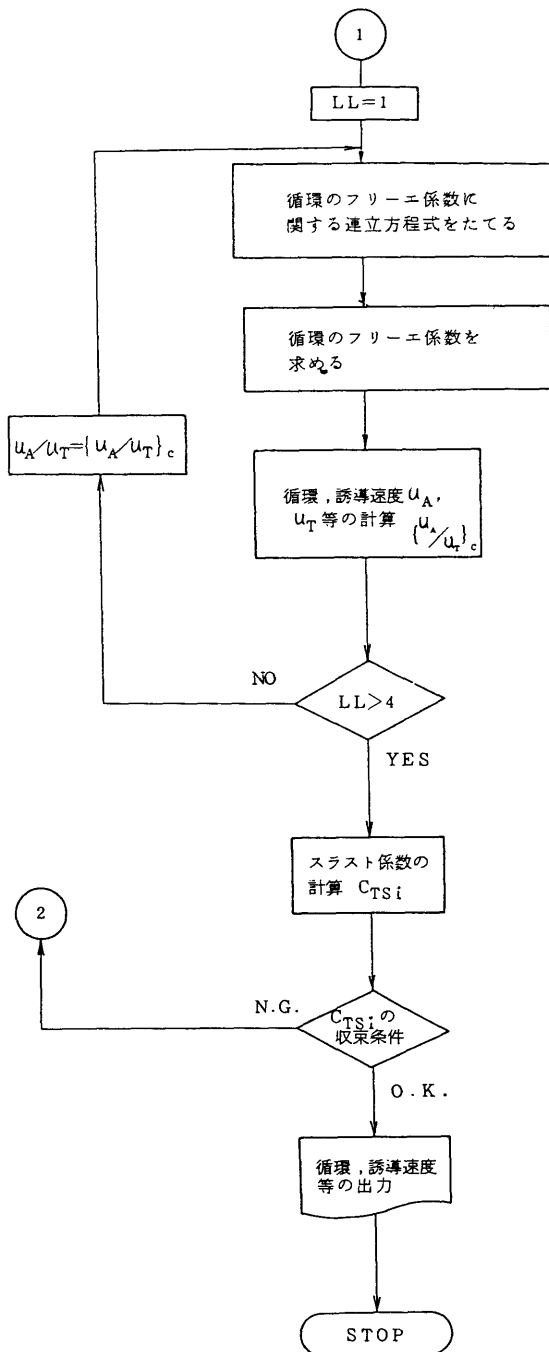
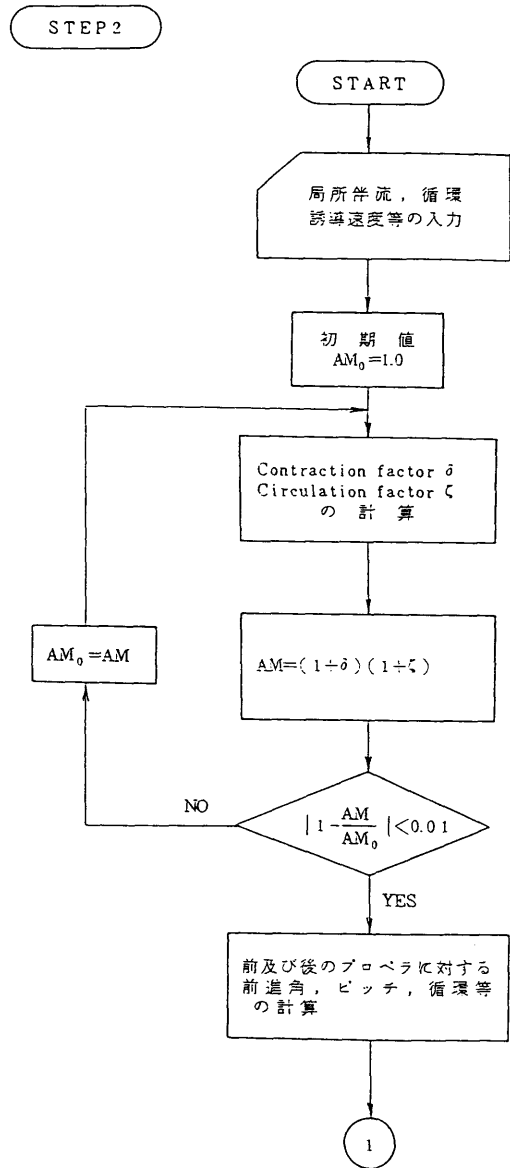
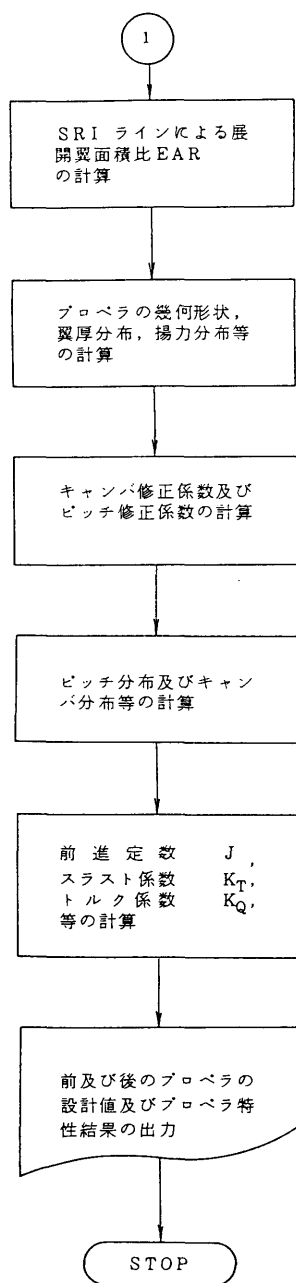
2）Burrill のキャビテーション判定基準（SRIの設計線）に基づいてプロペラ翼面積を求め，MAU型プロペラの標準翼輪郭に倣って半径方向の翼幅分布を，また翼強度計算を行って半径方向の翼厚分布を決定する。

3）循環を基に揚力係数を，また設計条件よりキャビテーション数を計算し，2次元翼型の初生キャビテーション曲線図より各翼素のキャンバー比の第1近似値を求める。

4）ピッチ比およびキャンバー比の第1近似値にたいして揚力面補正および摩擦修正を施して，半径方向のピッチ比およびキャンバー比の最終的な分布を決定する。

5）最後に設計点におけるプロペラ特性を計算して設計が終了する。

2.5 計算の手順

計算の手順は，図－1～図－4のフロートチャートに示すとおりである。

図－1 フロチャート（1－1）

図－2　フロチャート（1－2）

図－3　フロチャート（2－1）

図—4 フローチャート（2—2）

2.6 計算機種および制限事項

本プログラムは，49年4月に TOSBAC 5600用に作成されたが，56年8月に FACOM M–180 II AD 用に変換された。

注意事項および制限事項としては，

1）STEP 1（DLPOTE, Equivalent Propeller）では Lerbs の induction factor method を基にした伴流プロペラとして計算を進めている。

2）STEP 1の入力データのEの値は通常1.04で入力する。

3）STEP 2（DLPOTA, Actual Propeller）ではプロペラの翼断面形状は，翼厚分布は NACA 16および66シリーズを，キャンバー分布は a＝0.8および1.0 mean line のものに限られている。したがって入力データのKKとしては，1608，1610，6608，6610のいずれかを指定する。

4）翼輪郭形状はMAU型プロペラの標準寸法に倣って決定される。

5）STEP 2の入力データの distance-factor ga の値は，文献2）または文献3）の図表を基に作成した cross curve より読みとって入力値とする。

3．プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

精度および誤差に関する検定は行っていない。

3.2 計算所要時間

STEP 1とSTEP 2を併せて約3分である。

4．プログラムの応用

各種船舶用の2重反転プロペラの設計に使用できる。

5．あ と が き

本プログラムによって設計されたプロペラのプロペラ特性を，模型試験によって確認すると，設計条件を十分に満足させない場合もある，設計法の中に実験結果より得られる修正値を導入することにより精度向上をはかる必要がある。

参 考 文 献

1）H.W. Lerbs; Moderately Loaded Propeller with a Finite Number of Blades and an Arbitrary Distribution of Circulation, T. of SNAME, Vol. 60,1952

2) W.B. Morgan; The Design of Contra-rotating Propeller Using Lerb's Theory, T. of SNAME, Vol. 68, 1960

3) A.J. Tachmindji; The Axial Velocity Field of an Optimum Infinitely Bladed Propeller, DTMB Report, NO, 1294, 1959

8．プロペラ単独特性の計算プログラム（無限翼数プロペラ理論による）

推進性能部　（故）*森　山　文　雄

1．プログラムの目的および概要

プロペラ性能の数値計算については，揚力面理論を取入れた容量の大きな計算が最近実施されるが，船の推進性能を考える場合のプロペラの取扱いは，船体あるいは，舵との相互干渉という形で取扱われるので，プロペラ自体については，計算時間が短く，かつ流体力や近傍の流場が，出来るだけ良好に推定できるモデルが必要である。

このような目的から，従来の無限翼数プロペラ理論を応用したプロペラモデルに，a）プロペラ後方へ流出する自由渦モデルの変更，b）プロペラ性能に影響する物理量をプロペラ半径方向に変化させ，半径方向の単一断面における値で代表させることを極力さけることの２点の改良を加えたプログラムである。

＊プログラム製作者に代って上田隆康が本稿を著した。

2．プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

プロペラ単独特性の計算（無限翼数プロペラ理論）

Approximate Calculation Method for Estimating the Propeller Performance by Infinitely Bladed Propeller Theory

2.2 製作者

推進性能部　森山　文雄

2.3 製作年月日

昭和54年７月

2.4 計算の概要

プロペラは面ＳＰ上に分布する半径方向に軸をもつ束縛渦Γ（r, θ）と，それから流出する自由渦で置換えることができる。自由渦は一定ピッチ（hydraulic pitch）$2\pi h(r)$ をもつ螺旋面を形成するものとする。今，プロペラは θ の負の向きに一定角速度 Ω で回転しながら x軸に沿って負の方向に一定速度Ｖで前進しているとき（図－１参照），x, r 及び θ 方向の流速成分を w_{1x}, w_{1r} 及び $w_{1\theta}$ とすると，有限翼数の補正がされた，翼面の位置での速度成分は，

$$W_{1x}=\frac{\Gamma(r,\theta)}{2h(r)k(r,h(r))},\quad W_{1r}=0,\quad W_{1\theta}=\frac{\Gamma(r,\theta)}{2rk(r,h(r))} \tag{1}$$

ただし，

$$k(r,h(r))=\frac{2}{\pi}\cos^{-1}\exp\left\{N-\left(1-\frac{r}{ro}\right)\frac{\sqrt{ro^2+h(r)^2}}{2h(r)}\right\} \tag{2}$$

となる。N は翼数，r_0 は半径である。

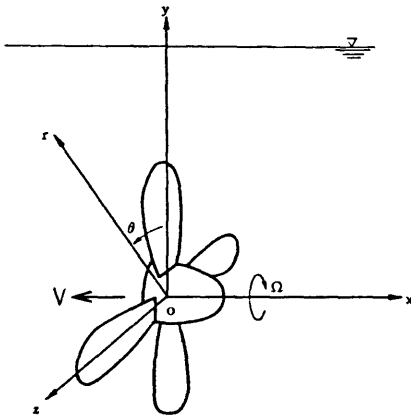
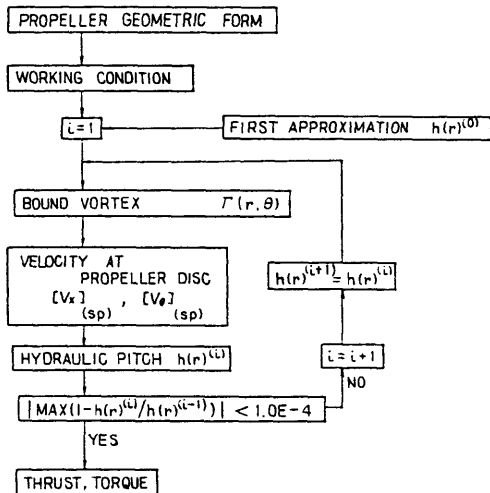
プロペラ面上の x, θ 方向の流速成分を $[V_x]_{(SP)}$, $[V_\theta]_{(SP)}$ とすると，

$$[Vx]_{SP}=V+\frac{\Gamma(r,\theta)}{2h(r)k(r,h(r))},\quad [V_\theta]_{SP}=r\Omega-\frac{\Gamma(r,\theta)}{2rk(r,h(r))} \tag{3}$$

プロペラ翼面における境界条件は，プロペラ翼面を透過する流れがないという条件と自由渦の流出条件は，流線に沿って自由渦が流出するという条件について前者には，有限翼数であること，及び翼幅が広いことから揚力面理論に対応する補正を加え，後者には，自由渦の流出するピッチ $2\pi h(r)$ を，プロペラ近傍の流揚を用いて表わすことにする。

以上の条件の下にΓ（r, θ）が求まると，スラストΓ，トルクＱは，

$$\frac{T}{Q}=\rho\int_{r_B}^{r_0}\left\{2\pi\Gamma(r,\theta)\times\frac{[V_\theta]_{sp}}{[Vx]_{sp}}+\frac{1}{2}C_{PD}N_c(r)\sqrt{1+\frac{h(r)^2}{r^2}}\times\frac{[Vx]_{sp}[V_\theta]_{sp}}{[V_\theta]^2_{sp}}\right\}rdr \tag{4}$$

で計算される。r_B はボス半径，C_{PD} はプロペラ翼の粘性係数である。

図－1　座標系など

図－2　計算の手順

2.5　計算の手順

図－2に示すフローチャートに従って計算を行う。プロペラ幾何形状及び作動状態を入力すると $h(r)$ を収束パラメータとして繰返し計算を行い，スラストとトルクが出力される。一般にプロペラ面は，r 及び θ 方向に分割して計算を行うが，単独性能の場合は，半径方向に5分割程度の要素分割を行えばよい。

2.6　計算の機種

FACOM M180 II AD

2.7　入力

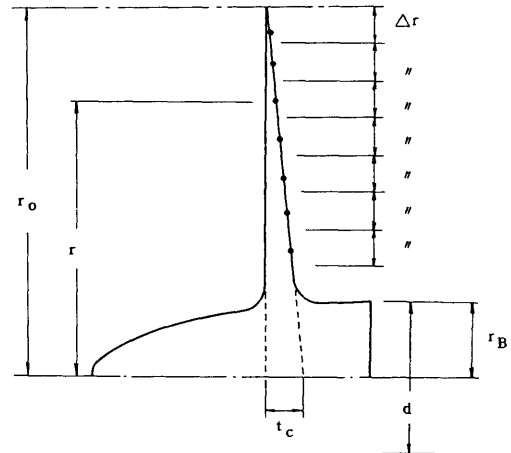
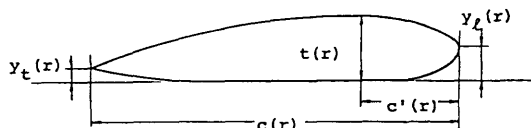
a）プロペラ主要目―プロペラ直径 $D(m)$，ボス比 x_B，幾何ピッチ比 p，展開面積比 a_E，最大翼幅比 $b\max$，最大翼厚比 B. T. R.，プロペラ翼数 Z

b）プロペラ入力断面数（通常8程度で入力）

c）プロペラ形状の入力―入力断面半径比 r/r_0（図－3参照），r/r_0 における翼幅比 c/c_0，r/r_0 における翼厚比 t/D

d）プロペラ翼型の入力―r/r_0 における前縁から最大翼厚 $t(r)$ 位置までの距離 $C'(r)$ についての $C'(r)/C(r)$（図―4参照），r/r_0 の前縁における基線から Nose–Tail line までの高さ y_l と y_t についての $y_l(r)/t(r)$ と $y_t(r)$；（図－4参照）。

e）プロペラ半径方向要素分割数（計算出力点数―通常5分割程度でよい）。

f）有効ピッチに対する修正係数

図－3　プロペラ形状

図－4　翼断面形状

2.8　出力

a）入力データの写し（記号も同じ）

b）プロペラ面分割実行後のプロペラ幾何形状データ

c）プロペラ特性計算結果

前進定数 J，スラスト係数 KT，トルク係数 KQ，プロペラ単独効率 ETAŌ，プロペラ面束縛渦分布 G，プロペラ面前進方向流速 VŌ × Ō，プロペラ面回転方向流速 VŌCŌ，プロペラ面揚力係数 CL，Hydraulic Pitch/ 2 π = H

3．プログラムの応用

プロペラと船体，舵との相互干渉である推進性能の問題を取扱う上に，プロペラ性能及びプロペラ近傍の流場（特にプロペラ後流）を，過大でない計算時間で高い精度の結果を導く場合に本プログラムの使用が適している。

参　考　文　献

森山文雄，プロペラ性能の近似計算法について，船研報告第16巻，第6号，昭和54年11月。

9．Doublet-Lattice 法によるプロペラ揚力面の計算プログラム

推進性能部　小　山　鴻　一

1．プログラムの目的および概要

不均一流の中で作動するプロペラの流体力学的特性を求める計算プログラムである。プロペラ翼を揚力面として解析している。この種の計算プログラムは，船研において既に開発されているが，その後の電子計算機の高速化，大型化といった発展および汎用性のある計算プログラムの要求といった時代の趨勢に鑑み新らたに開発されたのが本計算プログラムである。揚力面の数値解法には，大きく分けて mode function 法と discrete function 法とがある。既に開発されたプログラムがこの前者の方法の一種によっているのに対し，本プログラムは後者の方法の一種である Doublet-Lattice 法によっている[1]。

2．プログラムの内容

2.1　プログラムの名称

Calculation of propeller lifting surface by Doublet-Lattice Method

2.2　製作者

推進性能部　小山鴻一

2.3　製作年月

昭和54年3月

2.4　計算の基礎となる理論の概要

翼を薄翼と考え，流れが翼面に沿うという境界条件から翼面の特異点分布を求める。それにはフレッドホルム型の第1種の積分方程式を解かねばならない。それを数値解法で解く。特異点分布が求まると，翼の流力特性は容易に計算することができる。

揚力面 S 上の圧力差を Π，圧力場のポテンシャルを ϕ とすると揚力面上の吹き上げ W は，

$$w(\tau,\mu)=\frac{1}{2\Omega}\int_{-\infty}^{\tau}\frac{\partial\phi(T,\sigma,\mu)}{\partial n}\Bigg|_{\sigma=\sigma}dT$$

$$\phi(\tau,\sigma,\mu)=\frac{1}{4\pi\rho h}\sum_{m=0}^{l-1}\iint_{s}\Pi(s',r')\frac{\partial}{\partial n'}\left(\frac{1}{R}\right)ds'\,dr'$$

で表わされる。ここに，τ，σ，μ は螺旋座標，$2\pi h$ は螺旋のピッチ，$\partial/\partial n$，$\partial/\partial n'$ は螺旋面の法線微分，$\int dT$ は螺線に沿った積分である。また，ρ は流体の密度，l はプロペラ翼数，Ω^* はプロペラの回転角速度 Ω に自由渦の誘導速度成分を加えた値である。上式において，w の値は境界条件から与えられ，Π が未知関数である。

本計算法の特色は，$\iint_S ds' dr'$ の積分を合理的に離散化し又，解析的に積分を行い，数値積分を $\int_{-\infty}^{\tau} dT$ のみにする点にある。すなわち，翼面を多数の box に分割し，box 内の複源の面分布Πを格子上の線複源で置き換える。そうすると box 内の弦長方向の積分は完了したことになり，更に半径方向の積分は解析的に行うことができる。

結局，上記の積分方程式は連立1次方程式に変換され，それを解くことになる。

便宜上，定常揚力面の場合について説明したが，非定常揚力面の場合においても同様の手法で計算式が展開される。

2.5 計算の手順

計算の手順は，図－1フローチャートに示すとおりである。

2.6 計算機種および制限事項

このプログラムはTOSBAC－5600用に製作されたものであり，FACOM M－180用にも変換されている。使用メモリー数は約76 KWである。

2.7 入力

(1) **プロペラ作動状態**

船速，プロペラ回転数およびプロペラ直径

(2) **プロペラ翼幾何形状**

プロペラ半径，ボス半径，翼数およびプロペラ翼断面形状

(3) **翼断面粘性係数**

(4) **伴流分布**

軸方向成分及び接線方向成分

(5) **計算標点数**

半径方向標点数（$N_R \leq 15$）及び弦長方向標点数（$N_C \leq 10$）

2.8 出力

揚力密度に対応した循環密度，翼素の全循環，推力，トルク等の平均値及び変動値

3．プログラムの検定

3.1 計算精度および誤差

計算精度は，計算標点数（boxの数），核関数の数値積分精度，hydrodynamic pitchの値等に影響される。数値積分精度は有効数字5桁としている。他のプロペラ揚力面計算値との差は翼素の全循環の値で数％程度と考えられる[2)]。

3.2 計算所要時間

計算時間は翼形状や計算標点数によって異なるが $N_R = 7$，$N_C = 5$ の場合，定常計算で約4分，非定常計算一成分約16分である。

4．プログラムの使用法について

4.1 オペレート

プログラムの実行は，BATCH処理による。

4.2 プログラムの応用

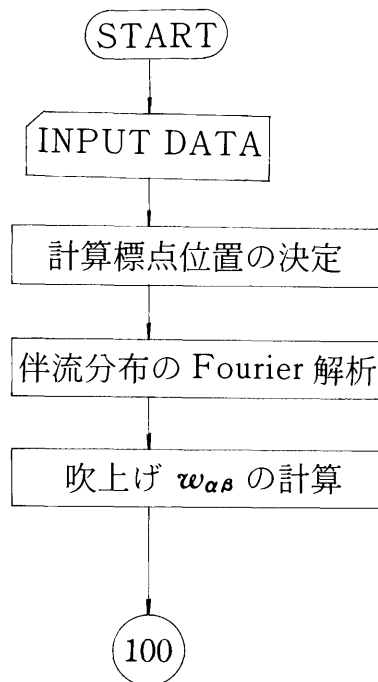
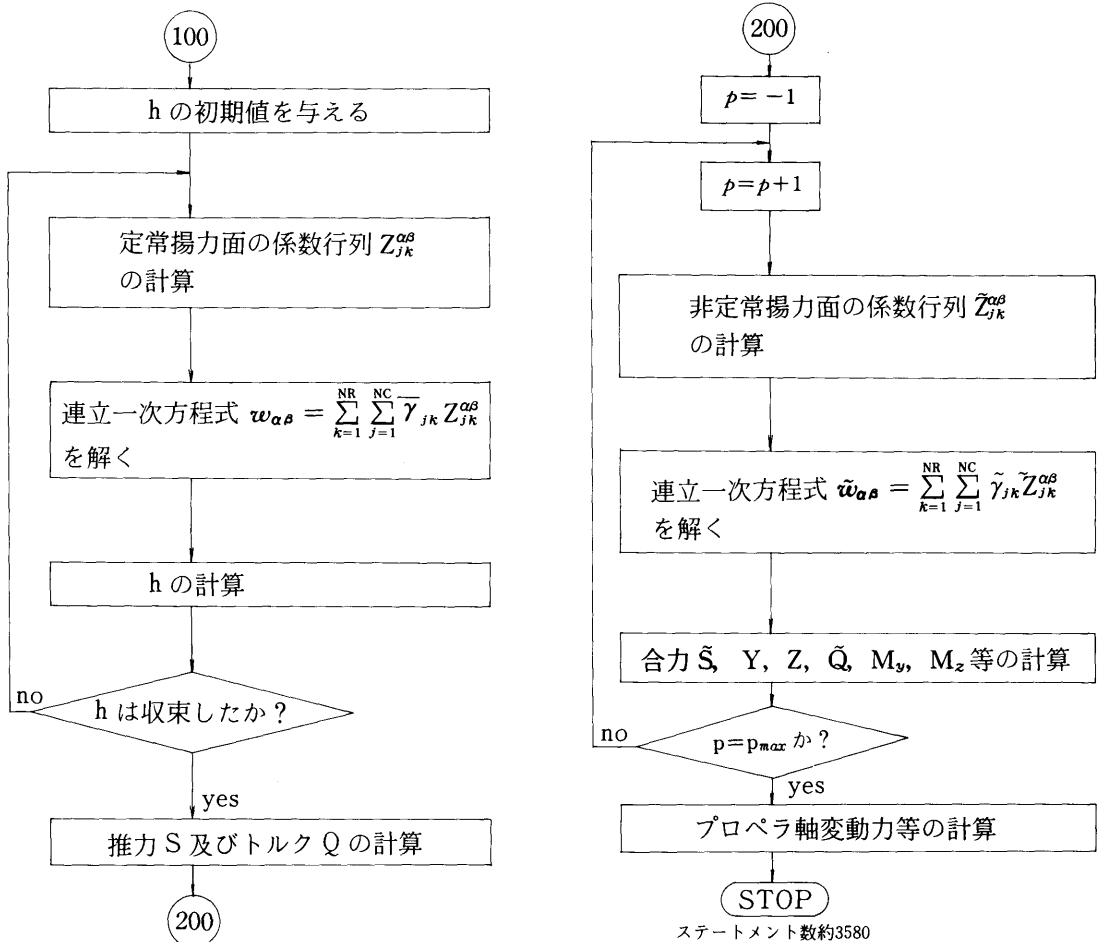
プロペラ特性の定量的な推定に利用される。

5．あ と が き

本プログラムは，TOSBAC－5600用に製作され，数値計算はほとんど $N_R = 7$，$N_C = 5$ の場合について行なわれていた。FACOM M－180の使用により大マトリックス $N_R = 15$，$N_C = 10$ の場合も計算が容易になるであろう。

参 考 文 献

1）花岡達郎，“プロペラの基礎理論―Ⅲ（discrete loading functionによるプロペラ揚力面の二つの解法）”船研報告，第14巻，第6号，昭和52年11月

2）K.Koyama, “On Application of the Lifting Surface Theory to Marine Propellers”, 13th Symp. on Naval Hydrodynamics, 1980, Tokyo

図－1　フローチャート

10. キャビテーション発生範囲の計算プログラム

推進性能部　右　近　良　孝

1. プログラムの目的および概要

船尾伴流中を作動する舶用プロペラにどの程度のキャビテーションが発生するか推定することは，舶用プロペラ設計上，効率と並び最も重要な問題の一つである。不均一流中を作動する舶用プロペラの翼面上の流場は，小山の核関数展開法による非定常プロペラ揚力面計算プログラムにより，流体力学的に等価な相当二次元翼のそれに置き換えることができる。これに対して，二次元空洞理論およびキャビテーションが発生しても二次元翼の揚力が殆んど変化しない性質を利用した揚力等価法を組み合せて，キャビティの長さを計

算する。各半径位置でのキャビティ長さをストリップ法的に求めることにより，キャビテーションの発生範囲を得ることができる。

2．プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

Prediction of Cavity Extent on A Marine Propeller Blade Working in Non-uniform Flow

2.2 製作者

推進性能部　右近良孝

2.3 製作年月日

1979年５月（境界層計算なし）

1980年２月（境界層計算あり）

2.4 計算の概要

キャビテーションの発生範囲を計算するためには，各プロペラ翼角度位置及び各半径位置におけるキャビテーション数，有効迎角，有効キャンバー形状ならびに翼厚分布が必要である。相当二次元翼の概念を用いることにより，これらのデータと翼弦長は既存の小山の核関数展開法による非定常プロペラ揚力面計算プログラムにより得られる。この相当二次元翼の圧力分布は等角写像法の一つである守屋の方法により計算する。この結果を用い，Thwaites の方法により層流境界層を計算し，Curle & Skan の方法により，層流剥離点を求める。層流剥離をしない時は，乱流への遷移点を Granville の方法又は Smith の方法により判定する。

層流剥離点での圧力係数 C_{Psep} とキャビテーション数 σ の和が負又は０になったらその点よりシート・キャビテーションが発生するものとする。又，乱流に遷移し，その点での圧力係数 C_{Ptran} とキャビテーション数との和が負又は０になったら同様にシートキャビテーションがその点より発生するものと判定する。迎角が小さく圧力係数とキャビテーション数との和が負となる範囲において，層流剥離も乱流遷移もしない時は，その範囲においてバブルキャビテーションが発生すると判定する。これ以外の時はキャビテーションが発生しないと判定する。ここで，相当二次元翼の迎角の絶対値が１°より小さいか，又は最大翼厚が翼弦長の６％より厚い時には，揚力等価法を用いるが，負圧面において

$$\int_{x^*_1}^{x^*_2} (C_p(x)+\sigma)dx=0$$

となる x^*_2 を計算し，キャビティ後端して対応する x^*_1 は層流剥離点又は乱流遷移点であり，$C_P(x)$ は圧力係数である。

一方，相当二次元翼に対し，閉塞型のキャビティ・モデルによる西山の二次元部分空洞理論を適用すると，与えられたキャビティ長さに対して，キャビテーション数が計算できる。これらの関係を用いて，発生するキャビティの長さを内挿して求める。キャビティの長さが翼弦長の70％を越える場合には，キャビティの長さが翼弦長に一致する時，開放型のキャビティモデルで近似できるので平板翼に対する超空洞理論の結果を用い，

$$\sigma_{cr}=10\cdot\alpha$$

なるキャビテーション数を用いて内挿する。空洞理論の結果を適用する範囲は翼厚が翼弦長の４％以下でかつ迎角が１°以上とする。

翼厚が４～６％でかつ迎角が１°以上の時は両者の平均値をキャビティの長さとする。

2.5 計算の手順

計算の手順は Fig. 1 のフロー・チャートに示すとおりである。本プログラムは三つの独立したサブプログラムから成り，これらを一つのプログラムとして起動させることも，それぞれ独立に計算することもできる。即ち，キャビテーション発生範囲計算用に修正された核関数展開法による非定常プロペラ揚力面計算プログラムにより得られたキャビテーション発生範囲計算用入力データーを一旦ファイルに収納した後，これを入力として揚力等価法プログラムおよび二次元空洞理論プログラムにより，それぞれキャビティの長さを計算し，迎角，翼厚，および揚力等価法プログラムにおける境界層計算結果よりキャビテーションの発生範囲を決定する。

2.6 計算機種および制限事項

(1) プログラム用語　FORTRAN 77

(2) 計算機種　FACOM M－180 II AD

(3) 必要メモリ　284 KB

(4) 周辺機器　パーマネント・ファイル
およびテンポラリ・ファイル

(5) 計算時間　非定常プロペラ揚力面　１分30秒
（船後伴流中，翼角度13点）
揚力等価法　３分（翼角度位置８点）
二次元空洞理論　３分（翼角度位置８点）

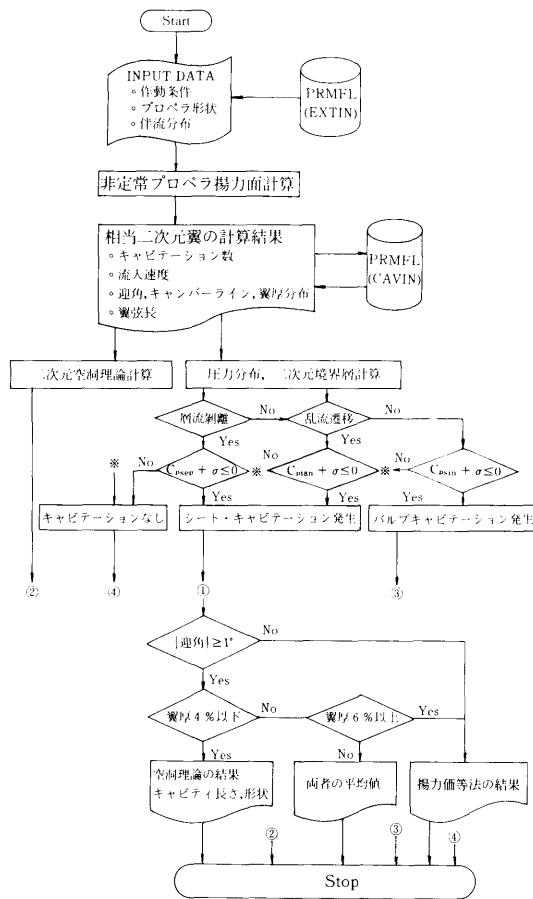



Fig. 1 Flow Chart

3．プログラムの特長およびその応用

本計算プログラムは，小山の核関数展開法に基づく非定常プロペラ揚力面プログラムにより必要な入力データを計算するので，適用範囲は後者により一義的に決められる。本方法ではプロペラ翼面まわりの流場は非定常プロペラ揚力面理論により計算されるが，キャビティの長さは定常理論で計算されるので，キャビテーションの発生遅れは実験結果よりかなり少なくなる。本方法では境界層計算を行っているので，模型プロペラの内側半径位置においてシートキャビテーションが発生しにくくなる。このため各半径位置における実験との対応は良くなる。この他，キャビテーション発生範囲の計算は，strip theory により計算されているので，キャビテーション自身の三次元影響（相互干渉）が無視されていることに留意する必要がある。応用としては本方法によって計算されたキャビテーション発生範囲に基づき，キャビティ・ボリュームを計算することにより，船尾変動圧力の計算を行うことができる。

4．あ と が き

本プログラムによる計算結果は，ワイヤーメッシュ後方不均一流中のを作動する模型プロペラばかりでなく，実船プロペラでのキャビテーションの発生範囲と良好な一致が得られている[5]。しかしながら，Highly Skewed Propeller のキャビテーション発生範囲を計算する際には，プロペラ揚力面理論も含め，使用にあたって問題があり今後改良する必要がある。

二次元空洞理論計算プログラムでは黒部雄三技官により製作された西山の部分空洞理論計算プログラムが一部修正されて使用されている。

参 考 文 献

1）小山鴻一，“新しい方法によるプロペラ揚力面の数値解析”，造船学会論文集，第132号，1972
2）船舶技術研究所，“舶用プログラム特性の計算プログラム（その２）”，講習会テキスト，1974
3）加藤洋治，右近良孝，“プロペラ・キャビテーションの推定法”，船型設計のための抵抗推進理論シンポジウム，日本造船学会，1979
4）右近良孝，“プロペラ・キャビテーションの発生範囲の推定法”，船研報告，第16巻，第６号，1979
5）Ukon, Y.; “Partial Cavitation on Two-and Three-Dimensional Hydrofoils, and Marine Propellers”, Proc. of 10th IAHR Symp., Tokyo, 1980

11. 非線形水面波の伝播及び反射の計算プログラム

共通工学部　冨　田　　宏

1. プログラムの目的及び概要

このプログラムは，浅水域における水面波の挙動を数値的にシミュレートし，その伝播，反射等の特性を明らかにするために開発したものである。その特長は，従来の計算法と異なり，水面での非線形な境界条件を変化する境界面上で評価している点にある。則ち，水面波の非線形な境界条件を厳密に満足する計算法である。

2. プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

ソリトンの発生・伝播・反射の計算

2.2 部名　製作者名

共通工学部　冨田　宏

2.3 製作年月

昭和57年5月

2.4 計算の概要

計算方法は，境界要素法と数値積分法とを組み合わせたものであり，境界面における法線方向の速度成分を求めるための積分方程式を境界要素法を用いて解き，得られた境界上各点での速度成分を使って境界上の各水粒子の運動方程式を積分して新しい時刻における境界面を決定する。

用いられた方程式系の概略は次の様である。

法線速度 $V_n=\phi_n$ を定める積分方程式は

$$\oint_C[\phi(P)\frac{\partial}{\partial n}lnR(P,Q)-lnR(P,Q)\phi_n(P)]dP$$
$$=\vartheta(Q)\phi(Q)$$

ここで　$R=\overline{PQ}$　C は全ての境界を表わす。

これによって得られた諸量に基いて新しい時刻における境界の形状 X $(x,\ y)$ 及びポテンシャル ϕ は次の運動方程式を解くことによって得られる。

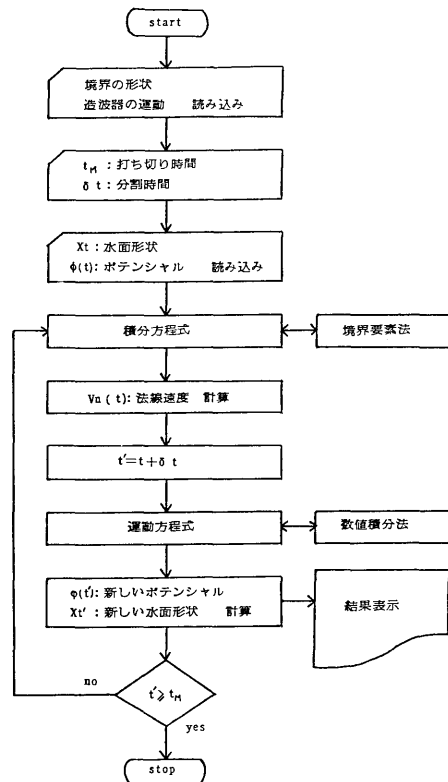
$$\frac{Dx}{Dt}=x_s\phi_s+y_s\phi_n$$

$$\frac{Dy}{Dt}=y_s\phi_s-x_s\phi_n$$

$$\frac{D\phi}{Dt}=-gy+\frac{1}{2}(\phi_s^2+\phi_n^2)$$

ここで S は境界に対する接線微分，n は法線微分を意味している。以下これを繰り返すことによって水面波の挙動を追跡することが出来る。

2.5 計算の手順

フローチャートを図－1に示す。

図－1　フローチャート

2.6 計算機種および制限事項

本プログラムは計算センターのFACŌM M 180 II AD を用いて計算するため，FŌRTRAN 77レベルで製作した。科学計算ライブラリーは使用していない。計算は単精度で行って実際上差しつかえない。本計算における使用メモリーは約1000 KB であるが，この計算法は同じ問題に対しては他の方法に較べて著しくメモリーが少なくて済むのは一つの特長である。

3．プログラムの応用

製作されたプログラムでは，１次元浅水波の発生，一様水深領域での伝播および，垂直壁による反射のみを取扱い，特にソリトンの発生法について工夫がこらしてある。このプログラムをより広い範囲の問題に応用することは，次の場合には入力データの差し換えのみによって極めて容易に実行出来る。

A）任意波の発生

B）水深の任意変化

C）任意傾斜の斜面による反射

D）固定された没水体ないし半没水体の存在する場合

また，十分なメモリがとれる場合には二次元水面に対する計算，波浪中の浮体の動揺の計算等にと応用することが可能である。

4．あ と が き

当該プログラムによれば，粘性を無視し得る水面波の諸現象を，砕波限界の範囲内であれば，どのようなものでも計算可能である。但し，一般に定常状態を得るには非常に長時間の計算時間を要する場合が多い。

参 考 文 献

1）TŌMITA H.　K. TANIZAWA (1983)
Numerical Investigation into Nonlinear Water Waves by Means of the Boundary Element Method
Papers of Ship Research Institute No69

2）冨田宏　谷沢克治（1983）
境界要素法による非線形波動の数値実験　その２
日本海洋学会秋季大会講演要旨集

3）冨田宏　谷沢克治（1982）
BEM による有限振幅水面波の数値計算
日本海洋学会秋季大会講演要旨集

12. 波浪中船体の非線形応答のシミュレーションプログラム

運動性能部　渡　辺　　巌

1．プログラムの目的および概要

荒天航行中の船舶には種々の原因により波浪外力が作用する。従来，この推定には，外力の大半を占める波浪変動成分に着目した線型計算が使われてきた。しかし船体運動が激しくなり，スラミングが発生するような状況では，線型計算による推定だけでは不十分で，スラミングによる衝撃荷重を正しく推定しなければ波浪外力を正しく把握したことにはならない。

このためには、時々刻々の船体の姿勢，波面との相対関係をフォローするシュミレーションの手法が有効である。本プログラムは，いくつか提唱されているシュミレーション手法のうち，山本等によって提唱されている手順に基づいて，波浪中の船体に働く縦曲げ，縦荷重を求めるものである。

本計算の内容を要約すると

主船体構造を，曲げ剛性および重量分布が長手方向に変化する両端自由の Euler 梁を仮定し，これが波浪中で弾性体として外力を受け，運動している時の船体の曲げ変形ならびにそれと等価な荷重を求めるものである。

2．プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

Calculation of non-linear responses of main hull structure in waves.

2.2 製作者

運動性能部　渡辺　巌

2.3 製作年月

昭和59年３月

2.4 計算の概要

計算は要約すると，指定された波浪中を航行する船

について時々刻々の船と波面の相対位置関係から船に働く外力を算出し，その時の船の構造応答を数値積分により求めていくことにある。

流体力の計算では，ストリップ法（OSM）の仮定を踏襲し，各断面毎の流体力を積分して船体全体の流体力としている。また本計算で重要なスラミングによる衝撃的流体力についてはKarmanの式により求めている。

船体構造の応答としては，縦曲げのみに着目しており，その解法としては，空間的にはモード関数を用いたGalerkin法で，時間方向にはNewmark－β法（β＝¼）を適用して解を求めている。

2.5　計算の手順

計算の概略フローチャートを図1に示す。

2.6　計算機種および制限事項

計算にはFACOM M－180 II ADを用いており，プログラムステップ数は約1500（FORTRAN）必要メモリー数は340 KB，計算時間は約90秒である。

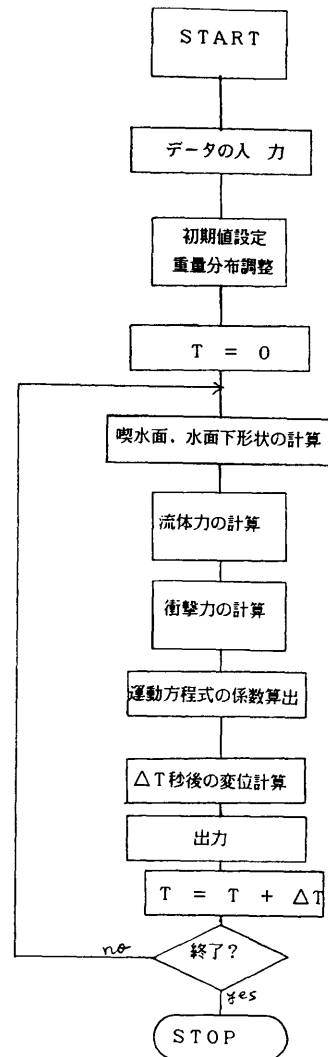
一部の計算結果は，XYプロッターで出力されるので，その為のパッケージルーチンが必要であるが，それ以外の部分は，ソースプログラムのレベルでは移植性は良い。

3．プログラムの応用

4．あ　と　が　き

今後，このプログラムを基礎に，青波打込みに対する船体応答，剪断変形の影響等を考慮したプログラムへの発展を考慮している。

5．参　考　文　献

1）山本善之，藤野正隆，深沢塔一，“非線形性を考慮した波浪中の船体縦運動および縦強度（第1～3報）”，造船学会論文集　No143, 144, 145（1978, 1979）

図－1　フローチャート

13.　2次元浅水動揺流体力に及ぼす海底形状影響の計算プログラム

運動性能部　菅　　　信

1．プログラムの目的および概要

海底が平担でなく，岩礁のような形状の凹凸がある浅水域においては，浮体と海底の凹凸との干渉が問題

になる場合がある。このような浅水域において2次元物体が上下揺，左右揺，横揺の各モードで正弦的な運動をしているときの線形造波ポテンシャル流場を，物体表面および海底凹凸部表面上の速度ポテンシャルに関する積分方程式を数値的に解くことによって求め，浮体に作用する流体力（附加質量と減衰力係数），左右への非対称な発散波振巾比，左右からの波による非対称な波強制力，透過係数と反射係数ならびに浮体による最大波エネルギー吸収効率等を計算するためのプログラムである。

2．プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

2次元浅水動揺流体力に及ぼす海底形状影響の計算プログラム

Oscillation of an Arbitrary Cylinder in Shallow Water with Arbitrary Bottom

2.2 製作者

運動性能部　菅　信

2.3 製作年月

昭和54年9月

2.4 計算の概要

図－1のように座標系をとり，速度ポテンシャルを$\phi(x,y)e^{i\nu t}$の実数部で表わす。浮体表面Hおよび海底の凹凸部表面Bの上の$\phi(x, y)$を決める積分方程式は次のように書ける。

$$\phi(x,y)+\frac{1}{\pi}\int_{H+B}\phi(x',y')G_n(x,y;x',y')ds$$
$$=\frac{1}{\pi}\int_{H}\phi_n(x',y')G(x,y;x',y')ds \qquad (1)$$

グリーン関数$G(x, y; x', y')$としては，主に(2)の積分表示型のものを使うが$|x-x'|$が大きいときは(3)の級数表示型のものを使って計算時間を節約している。

$$
\left.
\begin{aligned}
G(x,y;x',y') &= \ln r_0/h+\ln r_2/h \\
&-2\int_0^{\infty}\left\{\frac{k+K}{k}\cdot\frac{e^{-kh}\cosh k(h-y)\cdot\cosh k(h-y')\cos k(x-x')}{k\sinh kh-K\cosh kh}+\frac{e^{-kh}}{k}\right\}dk \\
&+i2\pi\frac{K_0+K}{K_0}\cdot\frac{e^{-K_0 h}\sinh K_0 h\cdot\cosh K_0(h-y)\cdot\cosh K_0(h-y')\cdot\cos K_0(x-x')}{Kh+\sinh^2 K_0 h}
\end{aligned}
\right\}\cdots(2)
$$

但し　$K=K_0\tanh K_0 h, K=\frac{\nu^2}{g}\cdot\frac{B}{2}$,

$r_0=\{(x-x')^2+(y-y')^2\}^{1/2}$,

$r^2=\{(x-x')^2+(y+y'-2h)^2\}^{1/2}$

$$
\left.
\begin{aligned}
&G(x,y;x',y') \\
&=i\frac{2\pi}{K_0}\cdot\frac{K_0^2-K^2}{hK_0^2-hK^2+K}\cosh K_0(h-y)\cdot\cosh K_0(h-y')\cdot e^{-iK_0|x-x'|} \\
&-\sum_{k=1}^{\infty}\frac{2\pi}{m_k}\cdot\frac{m_k^2+K^2}{hm_k^2+hK^2-K}\cos m_k(h-y)\cdot\cos m_k(h-y')e^{-m_k|x-x'|}
\end{aligned}
\right\}\cdots(3)
$$

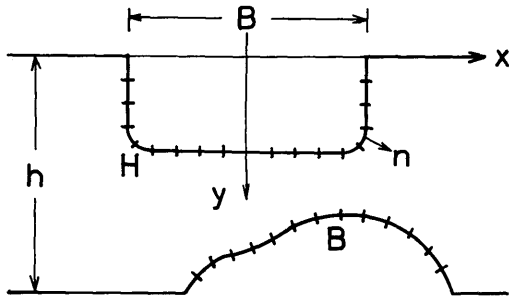
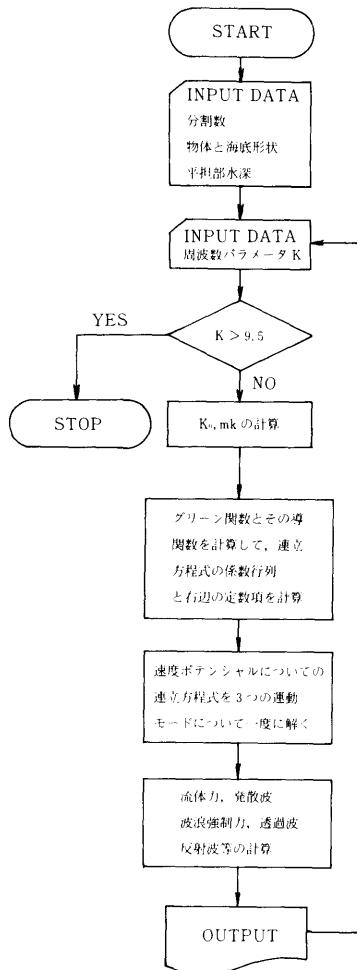
但し　$K=-m_k\tan m_k h$

また(1)において法線の方向は境界から流体内部へ向う方向を正としている。

積分方程式(1)の数値解は，浮体表面および海底凹凸部表面を図－1に示すように分割し，各微少線素の上では速度ポテンシャルは一定であるとして階段状の分布を求めるものである。筆者がこれまでこの種の問題を解く際に用いている手法は，特異性を完全に処理することによって連続分布を許し少ない分割数で高精度を得るものであるが，今回は境界形状の任意性を許したためにこの手法は採用しなかった。

速度ポテンシャルが求まったあとは，圧力分布，浮体に作用する各種の力（各運動モード間の連成を含む附加質量と減衰力），左右非対称に放射する波（発散波）の振巾と位相，Kochin 関数等が計算される。更に Diffraction 問題と Radiation 問題を結びつける Haskind の関係などを使うことによって右からの入射波，左からの入射波によるそれぞれの場合の波浪強制力の各成分，透過係数，反射係数，或いは，この浮体が吸収できる波エネルギーの理論的な最大値である最大波エネルギー吸収効率等を計算している。

2.5 計算の手順

計算の手順は図－2のフローチャートに示す通りである。

図－1　座標系

図－2　フローチャート

2.6　計算機種および制限事項

本プログラムは，当所中央計算機室の FACOM M-180 II AD 用に製作したものである。システムに組み込まれている科学用サブルーチンライブラリの中の指数積分，正弦・余弦積分及びガウス・ルジャンドル数値積分，ガウス消去法による連立一次方程式のサブルーチンを使用しているので，それらの名前と引数に注意すれば他機種への移行は容易である。

使用メモリ数は，物体表面と海底凹凸部表面の分割数の合計を250まで許した場合には約1150K Bであるが，分割数の合計を100までに制限すると約320K Bでおさまる。

外部記憶装置は使用していない。

3．プログラムの応用

本プログラムは，海底に凹凸がある場合の浮体の定常動揺に関する2次元線形造波ポテンシャル問題を解く，かなり汎用性のあるものである。海底が平担な場合は，海底形状を入力しなければよいが，平担であることを示す入力データを与えても正しい結果を得ることができる。また水深が無限大の場合には，水深 h として負の値を与えることにより，更に周波数が0または∞の場合にはパラメータKとしてそれぞれ0または9を与えることにより，それぞれの場合のグリーン関数とその微分の計算ルーチンへ跳ぶようになっており，これらの場合を含めた計算が可能である。

但しこのプログラムで計算できない場合が2つあり，1つは，船のビルジキールのような厚さのない板状の場合で，もう1つは，海底形状の凹凸部が平担部より下にある場合である。筆者は後者を凹底問題と称しているが[1]，浚渫航路上の船体動揺の問題などは，本プログラムでは解くことができない。

4．あ　と　が　き

2次元浅水動揺流体力等に及ぼす海底形状の影響を計算するプログラムであるが，上述のように凹底問題を解くことができない。この問題は，グリーン関数として $ln r_0$ だけを使う境界要素法（BEM）を使えば解くことができ，BEM は FEM に比べれば，未知数の数は格段に少ないが，それでも本法のような造波振動吹出しのグリーン関数を使う方法に比べると未知数はまだ多すぎる。従ってグリーン関数として水深無限大の場合の造波振動吹出しの速度ポテンシャルを使うな

どして，未知数を減らしたBEMの開発をはかる必要があり，浚渫航路付近の船体運動の問題などを実際に解く必要がでてきた段階で取組むこととしたい。

参 考 文 献

1）菅信，原口富博，浮体に働く流体力の海底形状影響について，第40回船研研究発表会講演集，1982. 12

14. 3次元物体の附加質量に及ぼす浅水影響の計算プログラム

運動性能部　菅　　　信

1．プログラムの目的および概要

船のような3次元物体が水面上で正弦的な運動をしているときの流れ場を解くいわゆる造波ポテンシャル問題において，運動の周波数が0と∞の両極限の場合を扱うプログラムである。

浅水域における船の衝突や振動の問題では周波数∞の場合が，また浅水域での船の操縦運動の問題では周波数0の場合がそれぞれ重要であるが，周波数が有限の場合の造波問題を解く一般的な数値解法では，この両極限の場合を扱えないために，特別にこの2つの場合に限定して計算するものであり，楕円体の計算専用のものと実用船型計算用のものと2本別々に作成してある。

2．プログラムの内容

2.1 プログラムの名称

3次元物体の附加質量に及ぼす浅水影響の計算プログラム

Added Mass of an Ellipsoid in Shallow Water (K = 0 and Infinity)

Added Mass of an Arbitrary 3-D Body in Shallow Water

2.2 製作者

運動性能部　菅　信

2.3 製作年月

昭和58年12月　（楕円体専用プログラム）

昭和59年4月　（実用船型用プログラム）

2.4 計算の概要

図－1に示すような境界条件を満たす流れ場を，通常の積分方程式法で計算する。使用するグリーン関数は，図－2に示すような配列で無限に並んだ吹出しと吸い込みそれぞれの速度ポテンシャルをG^+，G^-とし，周波数0と∞に対するグリーン関数をそれぞれG_0，G_∞とすると

$$G_0=G^+-G^-,\quad G_\infty=G^++G^- \tag{1}$$

である。但し

$$G^\pm=\mp\sum_{n=-\infty}^{\infty}{}' \left\{\frac{1}{\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z\mp z'-4nh)^2}}+\frac{1}{\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z\pm z'\mp 2h-4nh)^2}}\right\}\pm\sum_{n=-\infty}^{\infty}{}'\frac{1}{|2nh|} \tag{2}$$

である。Σ'は$n=0$を除く総和を表わし級数の発散部分を打消すために付加する定数項である。

流れ場を表わす速度ポテンシャルϕに関する積分方程式は

$$\phi(p)+\frac{1}{2\pi}\int\int_s\phi(Q)G_n(P,Q)ds(Q)=\frac{1}{2\pi}\int\int_s\phi_n(Q)G(P,Q)ds(Q) \tag{3}$$

であり，これを数値的に解く。

微少面素dsは原則として4つの端点を与えて決めるが，物体の前後端などの特殊なところでは3点しか与えられず例外的に3角形で表わす場合もある。微少面素dsの法線の方向余弦は4つの端点の対角ベクトルの外積で計算する。ϕ，ϕ_n，G，G_nはいずれもds上で一定とし，Gとその微分値は，dsを囲む4つの端点における値の平均値をとる。ϕとϕ_nはdsの重心で計算するものとする。但し，求めようとするϕが所属する面素からの影響を他の面素と同様に4つの端点からの影響の平均としてしまうと$1/r$($r=\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z-z')^2}$)の項について